

Válaszok Dr. Vaszil György bírálói véleményére

Rétvári Gábor: *Hálózati problémák interdiszciplináris megközelítésben*
című MTA doktori értekezéséről

Mindenekelőtt köszönetem szeretném kifejezni MTA doktori értekezésem hivatalos bírálójának, Dr. Vaszil Györgynek, a tudományos eredményeimet tömör, pontos és világos megfogalmazásban megvitató, az értekezés formai és tartalmi erőnyeit és hibáit egyaránt értékelő mély bírálatáért. Külön köszönöm a méltató szavakat, melyek szerint *"a dolgozatban bemutatott eredmények imponálóak, jelentőségük kétségtelen, nem csak praktikus szempontból tűnnek fontosnak, de matematikailag is elegánsak"*. Nagyon fontosak számomra az ilyen pozitív visszajelzések: valóban, munkám során mindig törekedtem egyfajta "matematikai elegancia" elérésére, és bár ezen törekvéseim általában mérsékelt sikerrel jártak (nem minden problémára létezik elegáns megoldás, illetve ha igen, akkor sem biztos, hogy rendelkezem a képességekkel ennek megtalálására), jó tudni, hogy egyes esetekben mégiscsak siker koronázta az erőfeszítéseimet.

Az alábbiakban a bírálatban megfogalmazott kritikai megjegyzésekre és észrevételekre kívánok reagálni, illetve választ adok a bíráló által megfogalmazott kérdésekre.

Általános felvetések

A bíráló jelezte, hogy *"szigorú értelemben [véve] a disszertációban ismertetett kutatások nem teljesen tekinthetők interdiszciplinárisnak, inkább úgy jellemezhetők, hogy a vizsgált hálózati kommunikációs problémák megoldása során a szerző a matematika olyan ágainak eszköztárát is beveti, melyeknek az alkalmazása ezeken a területeken akár szokatlannak is tűnhet"*. Őszintén szólva ezt a meglátást teljesen helyénvalónak érzem: valóban, az alkalmazott módszerek sokkal inkább "szokatlanok" semmint "interdiszciplinárisak", abban az értelemben, ahogy például a mérnöki és gazdaságtudományi megközelítéseket kombináló "Internet gazdaságtan" területe interdiszciplinárisnak minősül [Kiss Ferenc László: *Bevezetés az internet gazdaságtanába*, Verseny és Szabályozás, 2016]. Persze joggal vetődik fel a kérdés, mit tekintünk "tudományos diszciplinának" a hálózati kommunikációs problémák kutatásában, illetve egyáltalán tudománynak tekinthető-e ez a terület (lásd erről a témáról bővebben [Rexford: *The networking philosopher's problem*, ACM SIGCOMM Computer Communications Review, Editorial, 2011]). A Disszertációban valószínűleg inkább az "inter-szubdiszciplináris" kifejezés használata (illetve megalkotása) lett volna indokolt.

A bíráló több szerkesztési hibára is felhívja a figyelmet. Például a *dominálatlan allokációkra megfogalmazott feltételekről [szóló] 2.12 tétel [és] a Pareto- optimalitás feltételeiről [szóló] a 2.14 tétel*", illetve a tézisfüzet ezen eredményeket összefoglaló 1.2-es és 1.3-as tézisei, *"különálló tézisként való megfogalmazása [...] indokolatlan, hiszen a Pareto-optimalitás azt jelenti, hogy az allokáció minden felhasználó szempontjából dominálatlan, azaz a 2.14-es tétel előáll a 2.12-es tétel egyszerű következményeként"*. Hasonlóan, a bíráló jelzi, hogy a Disszertáció 3. fejezetének első része, amely *"megismétli az előző fejezetben bevezetett jelöléseket és formalizmusokat [...] feleslegesnek tűnik, hiszen a disszertáció egy összefüggő mű, ahol a visszalapozás megengedett, nem szükséges, hogy minden fejezet önmagában a többitől függetlenül is értelmezhető legyen"*. Végül a bíráló felveti, hogy a 3. fejezetben közölt eredményeket a *"disszertáció hat rész-állításra bontja és külön-külön tézisekként fogalmazza meg, ami ismét feleslegesnek tűnik"*, és általánosságban jelzi, hogy *"a fő tézisek al-állításokra való felosztásának finomságát"*, valamint *"az állítások bizonyításához szükséges lemmák különálló al-tezisekként való megfogalmazását némely esetben indokolatlannak"* érzi. Utólag visszatekintve ezeket a szerkesztési döntéseket én is indokolatlannak tartom, és annak fényében, hogy szinte pontosan ugyanezeket a hibákat a többi bíráló is jelezte, teljesen egyetértek az értékelés felvetéseivel. Felajánlottam, hogy a tézisfüzetet a fenti észrevételek fényében szívesen átszerkesztem, sajnos azonban az MTA doktori folyamat ebben a stádiumában erre már nincs lehetőség. Bízom benne, hogy ezek a szerkesztési hibák nem csökkentik jelentősen a Disszertáció tudományos és szakmai értékét.

Kérdések

- **Kérdés:** A 3. fejezet végén a bemutatott szabályozó gyengéjeként említi, hogy olyan hálózatokban alkalmazható, melyben adott a központi kontroll lehetősége. Lát-e lehetőséget arra, hogy a bemutatott módszerek alapján esetleg a fejezet végén szintén említett, a központi vezérlésnél osztottabb, hibrid útválasztó architektúrák is tervezhetők legyenek?

Remek és izgalmas kérdés, olyannyira, hogy a későbbi, a jelen Disszertációban bemutatásra nem kerülő munkánkban pontosan ennek a kérdésnek a megválaszolására koncentráltunk, és, legalábbis részben, pozitív választ adtunk a bíráló által felvetett kérdésre.

Valóban, a Disszertációban bemutatott optimális központosított szabályozó alkalmazhatóságának jelentős gyakorlati korlátja, hogy a központi vezérlő csakis pontos és időszerű információ birtokában tudja meghatározni az optimális forgalomelvezetést. Elsősorban a holtidő jelent problémát: minél hosszabb időt vesz igénybe a hálózat bemenetén belépő forgalom mennyiségének mérése és az adatok a központi vezérlőbe való eljuttatása, annál pontatlanabb a szabályozás. Extrém esetben akár jelentős lengések és oszcillációk is felléphetnek a hálózatban, nem beszélve a monitoring információ a bemenet és a vezérlő, illetve a frissített forgalomelvezetési információk a vezérlő és a routerek közötti gyakori terjesztésének jelentős erőforrásigényéről.

A probléma kiküszöbölésének feltétele, hogy olyan modellt találjunk, ahol a szabályozás nem használ pontos hálózati információkat, illetve nem terjeszt részletes útválasztási beállításokat a routerek felé. Ilyen hibrid, ún. központosított–elosztott módszert mutattunk későbbi kutatásaink során, lásd [Rétvári, Németh: *Demand-oblivious routing: Distributed vs. centralized approaches*, IEEE INFOCOM, 2010] és [Németh, Rétvári: *Rate-adaptive multipath routing: Distributed, centralized, and hybrid architectures*, Networks, 2015]. Az ötlet, hogy az egyes szabályozási régiókhoz olyan elosztott útválasztási függvényeket rendelünk, amelyeket a routerek csak lokális forgalmi információk birtokában is használhatnak, mivel azok nem függenek a többi routeren mért forgalomtól. Egy ilyen hibrid rendszerben a központban elég hozzávetőleges forgalmi adatokat nyilvántartani, ami jelentősen, csökkenti a monitorozás erőforrásigényeit. Mivel a routerekbe letöltött útválasztási információ a teljes szabályozási régióban érvényes, annak frissítésre csak akkor van szükség, ha a hálózat terhelése az egyik régióból a másikba átlép. Ez jóval ritkább szinkronizációt eredményez, mint amit a tisztán központosított módszer igényel.

- **Kérdés:** A 4. fejezetben a 4.2 táblázatban összefoglalt eredményeket tekintve feltűnő, hogy a szigorúan monoton útválasztási algebrákkal leírt szabályrendszerek nem tömöríthetők, míg az a két szabályrendszer tömöríthető ami monoton, de nem szigorúan monoton algebrával írható le. Van-e valami szemléletes jelentése a monotonitás szigorúságának vagy nem szigorúságának a kérdéses algebrával leírt útválasztási szabályrendszerekre nézve, ami ezt az összefüggést indokolhatná?

Köszönöm a kérdést, valóban érdekes felvetés. A "monoton", illetve a "szigorúan monoton" útválasztási algebrák közötti különbség legjobb szemléltetése talán a legrövidebb-út választásán alapuló szabályrendszer példáján keresztül lehetséges: ha az éleken megengedünk zérus élköltséget, akkor monoton, míg ha csak pozitív értékeket, akkor szigorúan monoton algebrát kapunk. Ilyen formán a monoton algebrák általánosabbak, mint a szigorúan monoton algebrák: egy monoton algebra megszorításával általában nem nehéz szigorúan monoton algebrát előállítani. Vagy megfordítva: abból, hogy a szigorúan monoton algebrák nem tömöríthetők, általában következik, hogy a monoton algebrák is azok, hiszen az utóbbi megszorításával könnyen kaphatunk ellenpéldát az előbbihez: például legrövidebb-út választás esetén a tömöríthetetlenség akkor is igaz marad, ha megengedünk zérus élköltségeket.

Valójában a tömöríthetőség és a tömöríthetetlenség közötti választóvonal nem a "monoton", illetve a "szigorúan monoton" algebrák közötti különbségben rejlik, hanem a szelektivitás tulajdonságában. A szelektív

algebrák tömöríthetőek (lásd 3.1. tétel), a nem szelektív algebrák általában nem. Izgalmas nyitott kérdés, hogy vajon a logaritmikusan skálázódó szelektív algebrák és a lineárisan skálázódó reguláris algebrák között létezik-e átmenet, például olyan algebra, amely nem szelektív de mégis szublineáris skálázódást tesz lehetővé.

Összegzés

Zárásként még egyszer szeretném megköszönni az alapos és jogos kritikai észrevételeket. Különös köszönetem szeretném kifejezni a bírálók áldozatos munkájáért: ha a munkám ilyen részletes és magas színvonalú bírálatok fényében is megállja a helyét, az nagyon erős visszaigazolás lenne számomra, hogy jó úton járok. A Disszertáció értékeit elismerő méltató szavak különösen inspirálóan hatottak rám, és erős motivációt jelentenek, hogy a jövőbeli kutatási munkám során is kövessem azokat az értékeket, amelyeket eddig is fontosnak tartottam: a törekvést az elméleti és gyakorlati megalapozottságra és a szokatlan megközelítések használatára.

Budapest, 2021. augusztus 18.

Dr. Rétvári Gábor
tudományos főmunkatárs
Távközlési és Médiainformatikai Tanszék
Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem
és
tudományos tanácsadó
Ericsson Research, Magyarország